



DE 197 30 389 C 2

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ Patentschrift  
⑩ DE 197 30 389 C 2

⑤1 Int. Cl.7:  
F 28 F 9/00  
F 28 D 7/00

②1 Aktenzeichen: 197 30 389.7-16  
②2 Anmeldetag: 16. 7. 1997  
④3 Offenlegungstag: 21. 1. 1999  
④5 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 6. 6. 2002

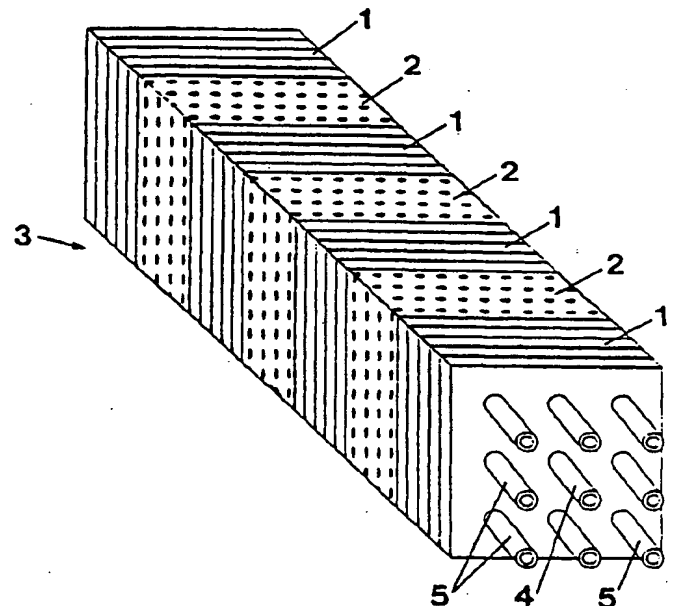
Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦3 Patentinhaber:  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.,  
51147 Köln, DE  
  
⑦4 Vertreter:  
Grimm, E., Dipl.-Phys., Pat.-Anw., 63075 Offenbach

⑦2 Erfinder:  
Krenkel, Walter, 71272 Renningen, DE; Nedele,  
Martin, Dr., 72768 Reutlingen, DE  
  
⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:  
GB 11 00 832  
EP 04 79 832 A1

⑤4 Wärmetauscher

⑤7 Wärmetauscher, der mindestens ein erstes Rohr (4) zum Hindurchleiten eines zu kühlenden Fluids und mindestens ein zweites Rohr (5) zum Hindurchleiten eines Kühlfluids aufweist, wobei zumindest das erste Rohr (4), aus einem fluiddichten, korrosions- und oxidationsbeständigen Werkstoff, in einer aus mehreren einzelnen Teilelementen gebildeten Tragstruktur (3) aus SiC-haltigem Werkstoff in einer Bohrung (6) der Teilelemente (1, 2) gehalten ist, wobei die Tragstruktur (3) aus aufeinander gestapelten und über eine SiC-haltige Verbindungsschicht (7) miteinander verbundenen platten- oder scheibenförmigen Teilelementen (1, 2) aus einem mit Kohlenstoff- und/oder Keramikfasern verstärkten Verbundwerkstoff aufgebaut ist und wobei zumindest zwischen dem ersten Rohr (4) und der Tragstruktur (3) eine Dehnungsausgleichsschicht (8) aus keramischem Werkstoff und/oder Kohlenstoff angeordnet ist.



DE 197 30 389 C 2

## Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft einen Wärmetauscher.

[0002] Ein derartiger Wärmetauscher ist aus der EP 0 479 657 A1 bekannt. Dieser Wärmetauscher ist aus einem Bündel erster Rohre, die auf Abstand zueinander mittels einer Tragstruktur gehalten werden, aufgebaut. Die Tragstruktur besteht aus einzelnen Platten. Durch die ersten Rohre wird ein erstes Fluid hindurchgeführt, das gekühlt werden soll. Die gesamte Tragstruktur ist von einem zweiten Rohr, d. h. einem Hüllrohr, umgeben, das einen Zu- und Ab-  
lauf aufweist, über die ein zweites Fluid an den ersten Rohren vorbeigeführt wird, um die von den ersten Rohren abgegebene Wärme abzuführen. Die ersten Rohre sowie die Tragstruktur, die die ersten Rohre fixiert, bestehen aus Siliciumcarbid. Um die Tragstruktur mit den ersten Rohren aufzubauen, werden die Trageplatten zunächst als Grünkörper hergestellt mit entsprechenden Bohrungen, in die die ersten Rohre aus Siliciumcarbid eingesteckt werden sollen. Danach erfolgt eine Sinterung bei Temperaturen zwischen 1900 bis 2500°C, um die Trageplatten mit den ersten Rohren fest, d. h. unverrückbar, zu verbinden. Dadurch, dass die einzelnen ersten Rohre mit Abstand zueinander gehalten sind, können sie gut von allen Seiten von dem zweiten Fluid umströmt werden, um die Wärme abzuführen. Eine solche Anordnung bringt Probleme insbesondere dann mit sich, dass, falls ein einzelnes der ersten Rohre defekt ist, der gesamte Wärmetauscher unbrauchbar wird, da eine Trennung seiner einzelnen Bauteile praktisch nicht möglich ist.

[0003] Aus der GB 1,100,832 ist ein Wärmetauscher bekannt, der einzelne Rohre aufweist, die zueinander beabstandet sind und innerhalb eines Mantels durch Träger getragen sind, wobei die Träger an voneinander beabstandeten Stellen in dem Mantel angeordnet sind. Jeder Träger weist einen Stapel dünner Metallplatten auf, die so mit Öffnungen versehen sind, um die Rohre aufzunehmen. Darüberhinaus sind weitere Öffnungen vorgesehen, um eine Strömung innerhalb der Ummantelung zu ermöglichen. Die einzelnen Platten sind aus Metall gebildet.

[0004] Ausgehend von dem vorstehend angegebenen Stand der Technik liegt nun der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, einen Wärmetauscher aus einem korrosions- und oxidationsbeständigen Werkstoff zu schaffen, der eine hohe mechanische Festigkeit aufweist, der hohen Temperaturwechselzyklen standhält, der einen hohen Wirkungsgrad, d. h. einen guten Wärmeaustausch zwischen den beiden Fluiden ermöglicht, und der darüberhinaus, trotz der einzusetzenden Werkstoffe, einfach aufbaubar ist und in Bezug auf defekte Teile einen leichten Austausch solcher Teile ermöglicht.

[0005] Gelöst wird diese Aufgabe durch einen Wärmetauscher, der die Merkmale des Patentanspruchs 1 aufweist.

[0006] Der erfindungsgemäße Wärmetauscher ist zum einen dadurch charakterisiert, dass er aus einzelnen, platten- oder scheibenförmigen Teilelementen aufgebaut ist, die Hohlräume aufweisen und übereinandergestapelt sind und die über eine Siliciumcarbid-haltige Verbindungsschicht miteinander verbunden sind. In diese so gebildete Tragstruktur werden dann die ersten Rohre, die das erste Fluid führen, eingesteckt, derart, dass zwischen den ersten Rohren und der Tragstruktur eine Dehnungsausgleichsschicht aus keramischem Werkstoff und/oder Kohlenstoff angeordnet ist.

[0007] Durch diesen Aufbau sind die Tragstruktur und die Rohre, zumindest diejenigen Rohre, die das erste Fluid führen, mechanisch entkoppelt. Erst dann, wenn ein Fluid mit hoher Temperatur durch den Wärmetauscher hindurchge-

führt wird, erfolgt eine Ausdehnung der ersten Rohre, so dass diese dann, im Betrieb des Wärmetauschers, fest mit der Tragstruktur verankert sind. Durch die Dehnungsausgleichsschicht ist es möglich, den Wärmetauscher bei Arbeitstemperaturen zu betreiben, die sogar höher als 1400°C liegen; außerdem kann eine Innendruckbeaufschlagung der ersten Rohre vorgesehen werden. Die hohe Arbeitstemperatur und der hohe Innendruck führen zu einem höheren Wirkungsgrad.

[0008] Soweit in der Beschreibung und den Ansprüchen der Begriff "Fluid" verwendet wird, fallen hierunter, im Sinne der Ausführungen, nicht nur flüssige Medien, sondern auch gasförmige Medien oder Gemische aus flüssigen und gasförmigen Medien, die durch die Rohre des Wärmetauschers hindurchgeführt werden, die auch Feststoffpartikel mitführen können.

[0009] Da die Tragstruktur aus einzelnen Platten oder Scheiben aufgebaut ist, können mit vorgefertigten, standardisierten Teilen beliebig lange Wärmetauscherstrukturen aus solchen einzelnen Platten oder Scheiben aufgebaut werden mit den entsprechenden Hohlräumen bzw. Bohrungen, in die die Rohre, die die Fluide führen, eingesteckt werden. Aufgrund der Dehnungsausgleichsschicht aus keramischem Werkstoff und/oder Kohlenstoff wird erreicht, dass die Rohre, die im Betriebszustand des Wärmetauschers fest in der Tragstruktur fixiert sind, jeweils freigegeben werden, wenn der Wärmetauscher außer Betrieb ist, so daß keine Spannungen an den Übergängen gespeichert werden und es auch möglich ist, einzelne, eventuell defekte Rohre dem Wärmetauscher, ohne besondere Maßnahmen, zu entnehmen und durch andere Rohre zu ersetzen. Durch die erfindungsgemäße Ausbildung der Tragstruktur und der Rohre werden auch bei Innendruckbelastungen der Rohre diese nur gering auf Zug beansprucht, was für einen sicheren und störungsfreien Betrieb eines Wärmetauschers von wesentlichem Vorteil ist.

[0010] Die ersten Rohre aus einem fluiddichten, korrosions- oder oxidationsbeständigen Werkstoff können handelsübliche Rohre sein, die vorzugsweise aus monolithischer Keramik, aus Siliciumcarbid, Siliciumnitrid, Cordierit oder Mullit gebildet sind. Eine monolithische Keramik wird immer dann von Vorteil sein, wenn Gasdichtheit primär gefordert ist, während erste Rohre aus Siliciumcarbid und Siliciumnitrid dann eingesetzt werden sollten, wenn unter besonders hohen Temperaturen bei niedriger Materialausdehnung und hohen Temperaturwechselbeanspruchungen gearbeitet wird. Cordierit oder Mullit sollten dann für die ersten Rohre verwendet werden, wenn einerseits unter hohen Temperaturen gearbeitet wird, andererseits eine gute Oxidations- und Korrosionsbeständigkeit gefordert ist.

[0011] Die vorstehend angegebenen Materialien können auch für die zweiten Rohre eingesetzt werden, die zum Hindurchleiten des zweiten Fluids, über das die Wärme des ersten Fluids im Austausch abgeführt wird, dienen. Allerdings kann das zweite Fluid, das strömungsmäßig getrennt von dem ersten Fluid geführt wird, ein solches sein, das genau definiert wird und somit keine hohen Ansprüche an die zweiten Rohre stellt, im Gegensatz zu den ersten Rohren, durch die das zu kühlende Fluid hindurchgeführt wird.

[0012] Falls zumindest für die ersten Rohre Siliciumcarbid verwendet wird, so sollte es sich hierbei vorzugsweise um ein Silicium-infiltriertes Siliciumcarbid (SiSiC) oder ein gesintertes Siliciumcarbid (SSiC) handeln. Zur Fertigung der Rohre aus gesintertem Siliciumcarbid wird reines Siliciumcarbidpulver als Schlicker bereitgestellt und gegossen. Solche Rohre sind gasdicht und sollten dann, wenn unter sehr hohen Temperaturen gearbeitet wird, in den Wärmetauscher eingebaut werden.

[0013] Um die Dehnungsausgleichsschicht definiert zu bilden, darüberhinaus im Bereich dieser Schicht einen guten Wärmeübergang zu der Tragstruktur und damit zu den zweiten Rohren hin zu gewährleisten, wird diese Dehnungsausgleichsschicht bevorzugt aus einem keramischen Pulver oder aus Kohlenstoffpulver gebildet. Weiterhin eignen sich Dehnungsausgleichsschichten, die im wesentlichen aus Keramik- und/oder Kohlenstoff-Fasern gebildet sind, die darüberhinaus noch mit den jeweiligen Materialien in Pulverform gefüllt sein können. Den Fasern im Bereich der Dehnungsausgleichsschicht wird eine bevorzugte Orientierung gegeben derart, dass sie in Umfangsrichtung der Rohre orientiert sind. Solche Dehnungsausgleichsschichten können einfach und dünn hergestellt werden. Typische Außendurchmesser von Rohren, um die die Dehnungsausgleichsschicht herum gebildet wird, liegen im Bereich von 10 bis 100 mm mit einer Wandstärke in Abhängigkeit vom Durchmesser von 3 bis 15 mm. Die Dehnungsausgleichsschicht sollte thermische Spannungen im Bereich der Rohre verhindern und daher, in der Größenordnung von 0,1 bis 0,5 mm im abgekühlten Zustand der Rohre um diese herum liegen.

[0014] Für das vorstehend angesprochene keramische Pulver im Bereich der Dehnungsausgleichsschicht eignen sich insbesondere Bornitrid- und/oder Aluminiumnitrid-Pulver. Bornitrid-Pulver und Aluminiumnitrid-Pulver sind dann zu bevorzugen, wenn eine hohe Wärmeleitung einerseits, eine gute mechanische Entkopplung zwischen den Rohren und der Dehnungsausgleichsschicht gefordert sind.

[0015] Um eine hohe Festigkeit und gute Wärmeleitung zu erreichen, wird die Faserverstärkung in den Teilelementen aus zweidimensionalen Geweben, Faser-Rovings oder Gewebe-Bändern gebildet. Um eine Tragstruktur, aufgebaut aus den einzelnen Teilelementen, zu erreichen, die sehr hohen Temperaturen standhält und eine sehr hohe Festigkeit aufweist, wird ein Kohlenstoff-faserverstärkter Verbundwerkstoff eingesetzt, dessen Kohlenstoff-Fasern in Siliciumcarbid eingebettet werden. Dieses Siliciumcarbid wird durch Infiltrieren von flüssigem Silicium in eine Rißstruktur unter Wärmeeinwirkung und Reaktion mit Kohlenstoff gebildet.

[0016] Die Teilelemente, aus denen die Tragstruktur aufgebaut ist, sollten in dem Faserverlauf ihrer Kohlenstoff- und/oder Keramik-Fasern so orientiert werden, dass ein möglichst hoher Wärme- und/oder Fluidfluß zwischen den ersten Rohren, die das erwärmte Fluid führen, zu den zweiten Rohren, die das Kühlfluid führen bzw. zu der Außenseite des Wärmetauschers hin, gewährleistet ist. Dies kann darüberhinaus sowohl durch die Wahl des Faservolumens in der Tragstruktur als auch des Fasertyps erreicht werden. Um diesen Wärme- und/oder Fluidfluß über die Faserorientierung zu erreichen, sollten mindestens 50% der Fasern, vorzugsweise mindestens 90% der Fasern, in den Teilelementen parallel zur Platten- oder Scheibenebene der als Platten oder Scheiben ausgebildeten Teilelemente verlaufen, d. h. die Fasern sind mit einem hohen Anteil radial nach außen von den Rohrachsen des ersten und/oder der zweiten Rohre aus gesehen, jeweils orientiert.

[0017] Für einen einfachen Aufbau werden solche Faser-Rovings oder Gewebe-Bänder gewickelt, vorzugsweise derart, dass sich die einzelnen Lagen radial um die Achsen der später eingesetzten Rohre bzw. der Hohlräume, in die die Rohre eingesetzt werden, erstrecken. Hierdurch ergibt sich in Umfangsrichtung eine hohe Festigkeit der Teilelemente, aus denen die Tragstruktur aufgebaut wird.

[0018] Während des Aufbaus solcher gewickelten Teilelemente können definierte Zwischen Hohlräume ausgebildet werden, insbesondere dann, wenn die Bohrungen in den einzelnen Teilelementen wechselweise mit einem endlosen Band umwickelt werden. Die Zwischen Hohlräume bilden

sich dann im Bereich der sich kreuzenden Fasern. In solche Zwischen Hohlräume können dann Einsatzteile mit hoher gerichteter Wärmeleitung eingesetzt werden. Solche Einsatzteile können aber auch nachträglich in die Teilelemente eingebrachte Hohlräume eingesetzt werden. Für solche Einsatzteile eignen sich keramische oder keramisierte, kohlenstoff-faserverstärkte Verbundstoffe. Besonders bevorzugt sind Einsatzteile aus Siliciumcarbid, die in den Wickelkörper eingebettet werden. Gerade Siliciumcarbid bringt den Vorteil mit sich, daß artgleiches Material zu den Rohren bzw. der Faserkeramik verwendet werden kann.

[0019] Solche Einsatzteile sollten aber so verteilt angeordnet und in ihrem Volumen dimensioniert werden, dass eine möglichst hohe, gerichtete Wärmeleitung radial von den einzelnen Rohren, die das Arbeitsfluid führen, zu den Rohren, die das Kühlfluid führen hin, erfolgt.

[0020] Wie bereits vorstehend erwähnt ist, können in die jeweiligen Bohrungen, die definiert in den Teilelementen und in der daraus gebildeten Tragstruktur eingebracht sind, die ersten und zweiten Rohre eingeführt werden, durch die das erste und das zweite Fluid geführt wird. Bevorzugt wird jeweils benachbart zu einem ersten Rohr jeweils ein zweites Rohr angeordnet. Um einen hohen Wirkungsgrad im Wärmeaustausch zu erreichen, ist allerdings ein Aufbau zu bevorzugen, bei dem ein erstes Rohr, durch das das zu kühlende erste Fluid hindurchgeführt wird, zentral in der Tragstruktur angeordnet ist, während die zweiten Rohre radial um das erste Rohr verteilt werden, durch die das Kühl-Fluid hindurchgeführt wird. Zu bevorzugen ist eine symmetrische Anordnung der zweiten Rohre um das zentrale erste Rohr herum, darüberhinaus eine Anordnung derart, dass die Achsen der jeweiligen Rohre parallel zueinander verlaufen.

[0021] Der Wärmetauscher, wie er vorstehend in seinen verschiedenen Ausführungsformen beschrieben ist, kann als Moduleinheit dienen, wobei dann die Querschnittsform der Tragstruktur (die dann die Moduleinheit bildet), so ausgeführt ist, dass aufeinander grenzende Moduleinheiten flächig aneinanderliegen. Hierzu ist eine Querschnittsform der Tragstruktur als Polygon, vorzugsweise als Hexagon, zu bevorzugen, so dass an die jeweiligen Seitenkanten einer solchen Tragstruktur jeweils eine weitere Moduleinheit angelegt wird. Falls die polygonförmige Querschnittsform eine gleiche Seitenlänge aufweist, darüberhinaus das Polygon ein sechseckiges Polygon (Hexagon) ist, können um eine zentrale Moduleinheit sechs weitere Moduleinheiten angelegt werden, so daß sich eine größere Wärmeaustauschereinheit ergibt. Weitere solcher Moduleinheiten können dann beliebig um diese Einheit herum an der Außenseite angefügt werden. Für die Verbindung der einzelnen Moduleinheiten sind vorzugsweise in den Außenoberflächen Fixiernuten vorgesehen, in die Fixierteile wie Stäbe, eingelegt werden können. Solche Fixierteile sollten ein mit der Tragstruktur artgleiches Material sein, um keine unterschiedlichen Wärme- und/oder Fluiddehnungen hervorzurufen.

[0022] Um den Wärmetauscher gegen Oxidation oder Korrosion zu schützen, kann die Außenoberfläche der Tragstruktur mit einer entsprechenden Schutzschicht versehen werden, vorzugsweise einer solchen, die aus Siliciumcarbid und/oder Siliciumdioxid und/oder Molybdändisilizid gebildet ist.

[0023] Wie eingangs beschrieben ist, wird die Tragstruktur aus einzelnen Teilelementen aufgebaut. Jedes Teilelement wiederum kann aus mehreren Einzelplatten bestehen. Um in Richtung der Längsachse des Wärmetauschers gesehen die Wärmeverteilung im Bereich der Tragstruktur zu homogenisieren und eventuelle Wärmegradienten abzubauen, werden Teilelemente oder Gruppen aus Teilelementen mit zueinander unterschiedlichen, allerdings dennoch

definierten Faserorientierungen bereitgestellt, die dann in einer definierten Reihenfolge zu der gesamten Tragstruktur zusammengesetzt und mittels der Siliciumcarbid-haltigen Verbindungsschicht verbunden werden.

[0024] Weitere Einzelheiten und Merkmale der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnung. In der Zeichnung zeigt

[0025] Fig. 1 bis 4 den schrittweisen Aufbau eines erfindungsgemäßen Wärmetauschers entsprechend einer ersten Ausführungsform,

[0026] Fig. 5 einen Schnitt durch einen weiteren Wärmetauscher, der eine hexagonale Querschnittsstruktur aufweist,

[0027] Fig. 6 einen Querschnitt durch einen weiteren Wärmetauscher, der aus mehreren Wärmetauscher-Modulen entsprechend Fig. 5 aufgebaut ist,

[0028] Fig. 7 bis 9 den Wärmetauscher, wie er im Schnitt in Fig. 5 dargestellt ist, in perspektivischer Darstellung in drei Verfahrensschritten seiner Herstellung, und

[0029] Fig. 10 eine Tragestruktur vergleichbar mit derjenigen, die in Fig. 8 dargestellt ist, die aus Faser-Rovings oder Gewebebändern gefertigt ist, wobei die einzelnen Faserstrukturen im vorderen Bereich angedeutet dargestellt sind.

[0030] Der Wärmetauscher, wie er in der perspektivischen Darstellung der Fig. 4 zu sehen ist, umfasst eine aus mehreren plattenförmigen Teilelementen 1 und 2 aufgebaute Tragstruktur 3. In dieser Tragstruktur 3 sind ein zentrales erstes Rohr 4 und um den Umfang des zentralen Rohrs 4 verteilt weitere zweite Rohre 5 eingebettet. Während das zentrale, erste Rohr 4 dazu dient, ein zu kühlendes Fluid hindurchzuführen, wird durch das zweite Rohr 5 ein zweites Fluid, das als Kühlfluid dient, geleitet.

[0031] Um einen solchen Wärmetauscher, wie er in Fig. 4 dargestellt ist, herzustellen, werden zunächst die verschiedenen Teilelemente 1 und 2, wie in Fig. 1 gezeigt ist, hergestellt. Jedes Teilelement 1, 2 wird aus einem mit Kohlenstoff- und Keramik-Fasern verstärkten Verbundwerkstoff aufgebaut. Die Teilelemente 1 und 2, wie sie in Fig. 1 zu sehen sind, unterscheiden sich hierbei jeweils durch eine unterschiedliche Faserorientierung, wie durch den Faserverlauf in der oberen, linken Ecke jedes Teilelements 1, 2 angedeutet ist. Während in den Teilelementen 1 die Fasern im wesentlichen in der Ebene des jeweiligen Teilelements 1 und parallel zu den Seitenkanten des Teilelements ausgerichtet sind, sind die Fasern in den Teilelementen 2, die ebenfalls im wesentlichen in der Ebene des Teilelements liegen, 45° zu der Orientierung der Fasern in den ersten Teilelementen bzw. 45° zu den Seitenkanten des Teilelements 2 ausgerichtet. Wie anhand der Teilelemente 1 angedeutet ist, kann jedes Teilelement aus einzelnen Platten mit geringer Dicke aufgebaut werden.

[0032] Die Herstellung eines Plattenteils bzw. eines Teilelements 1, 2 erfolgt aus einem porösen, kohlenstoff faserverstärkten Kohlenstoffmaterial (C/C) mit sogenannten Langfasern, oder Fasern, die endlos sind, in orthotroper bzw. quasi-isotroper Orientierung zur Plattenebene. Solche Faserplatten werden dann zunächst zu einem Teilelement 1 zusammengefügt, beispielsweise durch Verkleben mit einer kohlenstoff-reichen Paste. Die einzelnen Teilelemente 1, 2 werden dann ebenfalls miteinander unter Heranziehung dieser Verbindungstechnik verklebt, so dass sich ein Vorkörper ergibt, wie er in Fig. 2 dargestellt ist. Danach werden, wie in Fig. 3 dargestellt, Bohrungen 6 eingebracht, was mit einem relativ geringen Aufwand möglich ist, da dieser Vorkörper leicht mit herkömmlichen Bohrtechniken bearbeitbar ist. Bei diesem Vorkörper handelt es sich um ein poröses Gebilde, wobei die Poren gegebenenfalls definiert ausgebildet werden können. Hierzu wird vorzugsweise eine Technik an-

gewandt, wobei die einzelnen Kohlenstoff-Fasern in einem kohlenstoff-reichen Polymer eingebettet sind, wobei unter Pyrolyse eine solche definierte Rißstruktur erzeugt und definiert eingestellt werden kann. Die Poren bzw. die Rißstruktur dieser Tragstruktur des C/C-Körpers wird dann mit flüssigem Silicium infiltriert, das unter Wärmeeinwirkung bei Temperaturen im Bereich von 1410°C bis 1700°C zu Siliciumcarbid umgewandelt wird. Die Querschnitte der Bohrungen 6 können definiert eingestellt werden. Gleichzeitig mit dem Infiltrieren von flüssigem Silicium in die Porenstruktur wird im Bereich der Klebeflächen der flächig miteinander verklebten Teilelemente 1, 2 eine Siliciumcarbid-Verbindungsschicht gebildet, so dass die Klebeschicht durch eine Siliciumcarbidschicht ersetzt wird und sich eine homogene, hochfeste Tragstruktur 3 auch im Bereich der Fügestelle einzelner Teilelemente 1, 2 ergibt.

[0033] Entsprechend den Bohrungsquerschnitten werden die einzusetzenden ersten und zweiten Rohre 4 und 5 dimensioniert, allerdings derart, dass deren Durchmesser geringfügig kleiner ist als der freie Bohrungsdurchmesser, so daß ein Zwischenraum bei eingelegtem Rohr entsteht. Diese Zwischenräume dienen als Dehnungsausgleichsbereich, der mit einer Dehnungsausgleichsschicht 8 aus keramischem Werkstoff und/oder Kohlenstoff gefüllt wird. Die Dehnungsausgleichsschicht 8 kann dadurch gebildet werden, dass, vor Einlegen der Rohre in die Bohrungen, eine Schicht aus Keramik- und/oder Kohlenstoff-Fasern oder -Folien eingefügt wird. Anschließend werden die Rohre eingesteckt, so dass diese unter Einhaltung eines definierten Spalts den verbleibenden Freiraum ausfüllen. Alternativ werden zunächst in die Bohrungen die ersten und zweiten Rohre eingelegt und der Zwischenraum mit einem keramischen Pulvermaterial weitgehendst aufgefüllt. In der Anordnung, wie sie in Fig. 4 zu sehen ist, sind die ersten und zweiten Rohre 4, 5 in der Tragstruktur 3 zwar fixiert, allerdings nicht kraft- und form-schlüssig so eingebettet, dass sie unverrückbar wären.

[0034] Während in Fig. 4 ein Wärmetauscher schematisch dargestellt ist, der quer zur Längserstreckung der ersten und zweiten Rohre 4, 5 eine quadratische Struktur aufweist, ist in Fig. 5 bzw. in Fig. 9 ein Wärmetauscher-Modul gezeigt, das einen hexagonalen Querschnitt mit einer gleichen Seitenlänge aufweist. Prinzipiell ist ein solcher Wärmetauscher so aufgebaut, wie dies vorstehend anhand der Fig. 1 bis 4 erläutert ist, wobei die Fig. 7 wiederum ein einzelnes Teilelement 1, 2 einer solchen Tragstruktur 3 zeigt. Mehrere solcher Teilelemente 1, 2 werden dann aufeinander verklebt, wie in Fig. 8 mit den Klebe- bzw. Verbindungsschichten 7 angedeutet ist. Nach keramisieren dieses Vorkörpers entsprechend der Fig. 8 werden dann die Rohre 4, 5 in die Bohrungen eingesteckt, wiederum mit einer keramischen Zwischenschicht, die als Dehnungsschicht 8 dient, wie in Fig. 5 angedeutet ist.

[0035] Wie zu erkennen ist, können aus dem modulartigen Aufbau des Wärmetauschers mit einzelnen Teilelementen 1, 2 Wärmetauscher beliebiger Längen hergestellt werden, wozu standardisierte Teile herangezogen werden. Mit einer polygonalen Querschnittsform der Tragstruktur 3, wie sie vorstehend beschrieben ist, insbesondere mit einer hexagonalen Querschnittsform, die Seiten mit gleicher Länge besitzt, können Wärmetauscherstrukturen aufgebaut werden, wie sie beispielsweise in Fig. 6 zu sehen ist. Hierbei werden einer zentralen Wärmetauschereinheit weitere Moduleinheiten einer entsprechenden Querschnittsform jeder Seitenfläche zugeordnet, so dass die mittlere, zentrale Wärmetauscher-Moduleinheit vollständig von äußeren Moduleinheiten umgeben wird. In den Seitenflächen der Moduleinheiten sind, in Längsrichtung der Rohre 4, 5 gesehen, Fixierungsnuten 9 ausgebildet, beispielsweise mit einem halbkreisfö-

migen Querschnitt, die sich dann beim Aufbau des Wärmetauschers entsprechend der Fig. 6 mit den Nuten angrenzender Wärmetauscher-Module zu einer Bohrung ergänzen, in die beispielsweise Fixierstifte oder Fixierstäbe 10 eingesetzt werden können. Die einzelnen Moduleinheiten entsprechend der Fig. 6 können mit geeigneten Verbindungstechniken verbunden werden, wozu sich beispielsweise Siliciumcarbid-schichten eignen. Die jeweiligen Rohre 4, 5 der Moduleinheiten der Fig. 6 können in geeigneter Weise strömungsmäßig miteinander verbunden werden, so daß sich zwei Strömungssysteme ergeben, wobei das erste Strömungssystem die ersten Rohre 4 (heller Querschnitt in Fig. 6) umfaßt, während das zweite Rohrsystem (zweite Rohre 5 – dunkel angedeutet in Fig. 6) das zweite Rohrsystem bildet. Durch das erste Rohrsystem wird das zu kühlende Fluid geführt, während das zweite Rohrsystem das Kühlfluid aufnimmt.

[0036] Wie weiterhin anhand der Fig. 6 zu erkennen ist, können mit Moduleinheiten, wie sie in Fig. 5 dargestellt sind, andere geometrische Gebilde hergestellt werden, beispielsweise Wärmetauscher, die einen relativ großen, mittleren Hohlraum aufweisen oder komplexe Wärmetauscherstrukturen, wie beispielsweise Wandflächen, die in ihrer Länge und Höhe variabel sind, um sie den Anforderungen jeweils anzupassen.

[0037] In Fig. 10 ist eine Tragestruktur 3 gezeigt, die aus Faser-Rovings oder Gewebebändern gewickelt ist. Wie aus dem angedeuteten Faserverlauf im Bereich der vorderen Stirnflächen der Wickelstruktur zu erkennen ist, ist diese Tragestruktur in Z-Richtung sich aufbauend gewickelt, indem die einzelnen Faserlagen wechselweise um die einzelnen Bohrungen 6, für die zunächst nicht dargestellte Platzhalter während des Wickelvorgangs eingesetzt werden können, gewickelt. Durch den kreuzweisen Verlauf im wesentlichen jeweils um den entsprechenden Platzhalter für das einzusetzende innere Rohr 4 herum ergibt sich eine hochfeste Struktur. Wie weiterhin zu sehen ist, werden die Fasern oder Faserbänder so gelegt, dass sie jeweils zu gegenüberliegenden Platzhaltern verlaufen und dann zu dem jeweils benachbarten Platzhalter geführt werden. Während dieses Wickelvorgangs entstehen an das innere Rohr 4 bzw. die Bohrung 6 für das innere Rohr 4 angrenzend dreieckförmige Hohlräume, in die dann ein entsprechendes Einsatzteil 11 aus einem gut wärmeleitenden Material, beispielsweise einer Faserkeramik, eingesetzt werden kann. Die Dehnungsausgleichsschicht kann bei einem Aufbau, wie er in Fig. 10 dargestellt ist, zunächst um Platzhalter-Formkörper herum angeordnet werden, bevor der eigentlichen Wickelvorgang erfolgt. Die Dehnungsausgleichsschicht kann aber auch während des Wickelns durch Aufbringen von Fasern radial um einen entsprechenden Kern oder Bereich die jeweiligen vorgefertigten ersten und zweiten Rohre 4, 5, die allerdings nicht näher in Fig. 10 dargestellt sind, aufgebaut werden.

#### Patentansprüche

1. Wärmetauscher, der mindestens ein erstes Rohr (4) zum Hindurchleiten eines zu kühlenden Fluids und mindestens ein zweites Rohr (5) zum Hindurchleiten eines Kühlfluids aufweist, wobei zumindest das erste Rohr (4), aus einem fluiddichten, korrosions- und oxidationsbeständigen Werkstoff, in einer aus mehreren einzelnen Teilelementen gebildeten Tragstruktur (3) aus SiC-haltigem Werkstoff in einer Bohrung (6) der Teilelemente (1, 2) gehalten ist, wobei die Tragstruktur (3) aus aufeinandergestapelten und über eine SiC-haltige Verbindungsschicht (7) miteinander verbundenen platten- oder scheibenförmigen Teilelementen (1, 2)

aus einem mit Kohlenstoff- und/oder Keramikfasern verstärkten Verbundwerkstoff aufgebaut ist und wobei zumindest zwischen dem ersten Rohr (4) und der Tragstruktur (3) eine Dehnungsausgleichsschicht (8) aus keramischem Werkstoff und/oder Kohlenstoff angeordnet ist.

2. Wärmetauscher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest das erste Rohr (4) aus monolithischer Keramik gebildet ist.

3. Wärmetauscher nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest das erste Rohr (4) aus Siliciumcarbid, Siliciumnitrid, Cordierit oder Mullit gebildet ist.

4. Wärmetauscher nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass als Siliciumcarbid ein Silicium-infiltriertes Siliciumcarbid (SiSiC) oder gesintertes Siliciumcarbid (SSiC) verwendet wird.

5. Wärmetauscher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Dehnungsausgleichsschicht (8) im wesentlichen aus keramischem Pulver oder Kohlenstoffpulver gebildet ist.

6. Wärmetauscher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Dehnungsausgleichsschicht (8) im wesentlichen aus Keramik- und/oder Kohlenstoff-Fasern gebildet ist.

7. Wärmetauscher nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Fasern bevorzugt in Umfangsrichtung der Rohre (4, 5) orientiert sind.

8. Wärmetauscher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Dehnungsausgleichsschicht (8) aus einem folienförmigen Werkstoff, insbesondere Graphit-Folie, gebildet ist.

9. Wärmetauscher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Dehnungsausgleichsschicht (8) aus einer Mischung aus faser- und pulverförmigem Werkstoff gebildet ist.

10. Wärmetauscher nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Dehnungsausgleichsschicht (8) aus Borinitrid- und/oder Aluminiumnitrid-Pulver gebildet ist.

11. Wärmetauscher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens 50% der Fasern in den Teilelementen (1, 2) parallel zur Platten- oder Scheibenebene der als Platten oder Scheiben ausgebildeten Teilelemente (1, 2) verlaufen.

12. Wärmetauscher nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens 90% der Fasern in den Teilelementen parallel zur Platten- oder Scheibenebene der als Platten oder Scheiben ausgebildeten Teilelemente verlaufen.

13. Wärmetauscher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Teilelemente (1, 2) aus einem kohlenstoff faserverstärkten Verbundwerkstoff gebildet sind, wobei die Kohlenstoff-Fasern in Siliciumcarbid eingebettet sind, das durch Infiltrieren von flüssigem Silicium und unter Wärmeeinwirkung mit Kohlenstoff zu Siliciumcarbid umgewandelt ist.

14. Wärmetauscher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Faserverstärkung in den Teilelementen (1, 2) aus zweidimensionalen Geweben, Faser-Rovings oder Gewebe-Bändern gebildet ist.

15. Wärmetauscher nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Faserverstärkung der Teilelemente (1, 2) aus gewickelten Faser-Rovings oder Gewebe-Bändern oder gestrickten Faser-Rovings gebildet ist (Fig. 10).

16. Wärmetauscher nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass in durch die Faserwicklung er-

zeugte Zwischenhöhlräume diese ausfüllende Einsatzteile mit hoher, gerichteter Wärmeleitung eingesetzt oder in diesen gebildet sind.

17. Wärmetauscher nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Einsatzteile aus keramischem oder keramisiertem, kohlenstoff-faserverstärktem Verbundwerkstoff gebildet sind. 5

18. Wärmetauscher nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Einsatzteile aus SiC gebildet sind. 10

19. Wärmetauscher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass um ein zentrales, erstes Rohr (4) mehrere zweite Rohre (5) angeordnet sind.

20. Wärmetauscher nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass die zweiten Rohre symmetrisch um das zentrale erste Rohr angeordnet sind. 15

21. Wärmetauscher nach Anspruch 19 oder 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Achsen der ersten und der zweiten Rohre (4, 5) parallel zueinander verlaufen.

22. Wärmetauscher nach einem der Ansprüche 1 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass als Wärmetauscher-Moduleinheit mehrere Moduleinheiten zu einer Wärmetauschereinheit zusammengeführt sind, wobei die Querschnittsform der Moduleinheit so ausgeführt ist, daß aneinanderergrenzende Moduleinheiten flächig aneinander liegen. 25

23. Wärmetauscher nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass die Querschnittsform der Moduleinheiten als Polygon, vorzugsweise als Hexagon, ausgeführt ist. 30

24. Wärmetauscher nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, dass das Polygon gleiche Seitenlängen aufweist.

25. Wärmetauscher nach Anspruch 24 dadurch gekennzeichnet, dass an jeder Seite einer zentralen Moduleinheit eine weitere Moduleinheit anliegt. 35

26. Wärmetauscher nach Anspruch 1 oder Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass in dessen Außenoberfläche Fixiernuten (9) vorgesehen sind.

27. Wärmetauscher nach Anspruch 1 oder Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass die Außenoberfläche der Tragstruktur (3) mit einer Schutzschicht gegen Oxidation oder Korrosion versehen ist. 40

28. Wärmetauscher nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, dass die Schutzschicht aus Siliciumcarbid und/oder Siliciumdioxid und/oder Molybdändisilicid gebildet ist. 45

29. Wärmetauscher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in der Tragstruktur (3) mehrere Teilelemente (1, 2) jeweils zu Gruppen zusammengefasst sind und benachbarte Gruppen eine unterschiedliche Faserorientierung aufweisen. 50

---

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

---

55

60

65

- Leerseite -

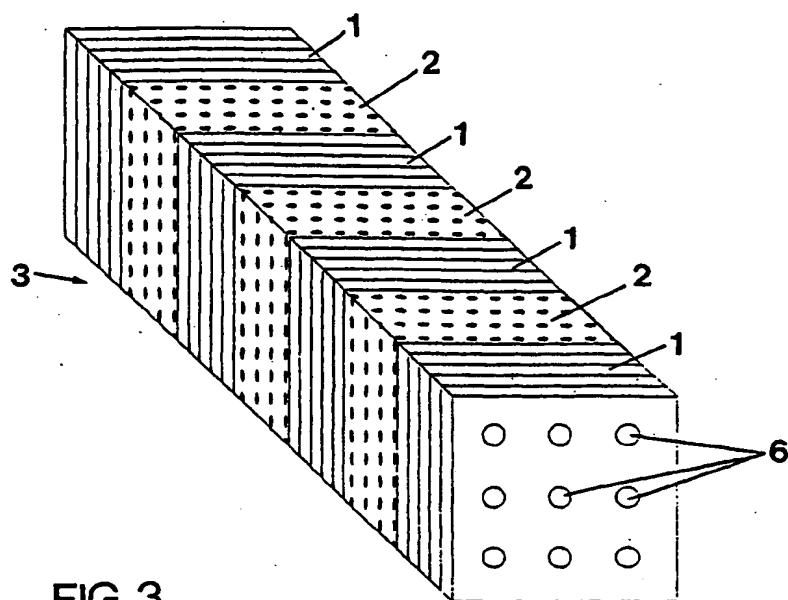


FIG. 3

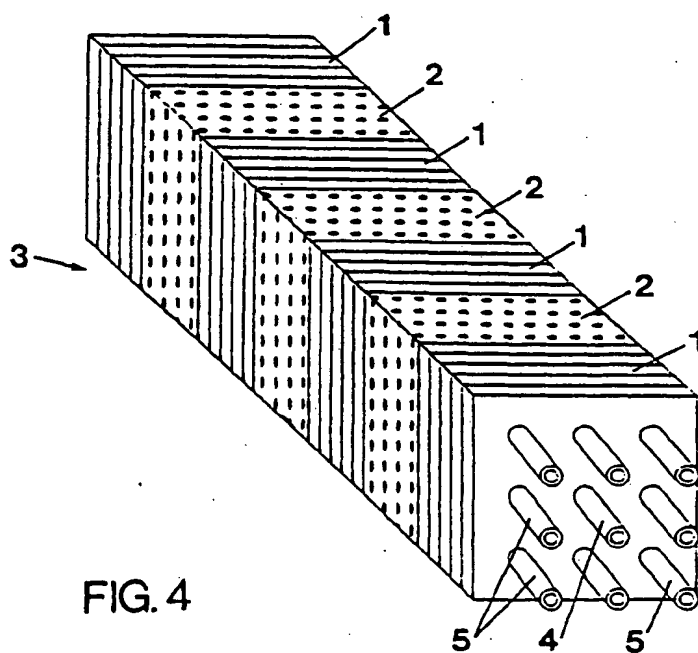


FIG. 4



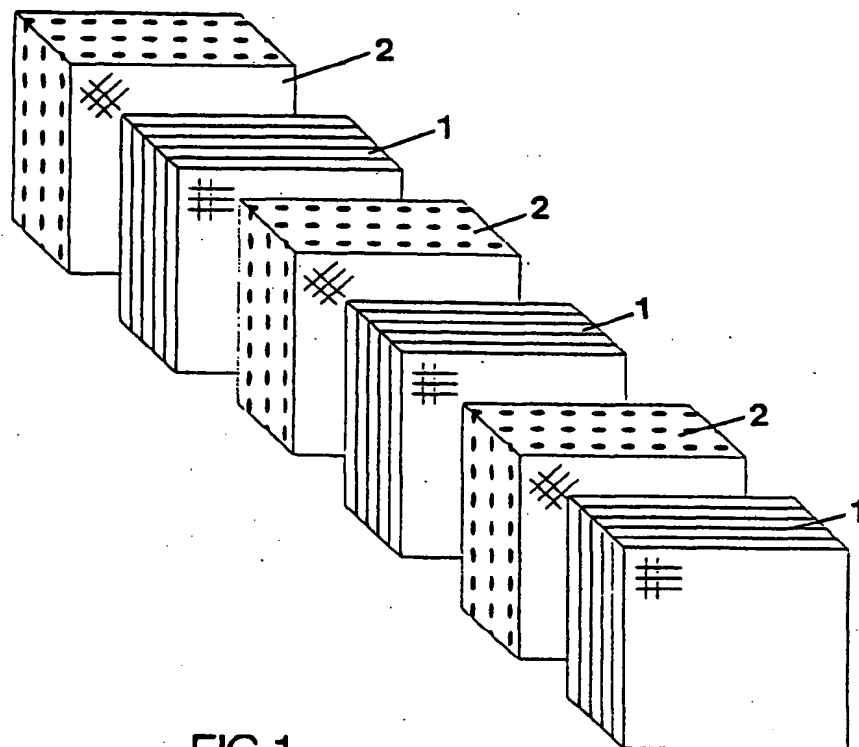


FIG. 1

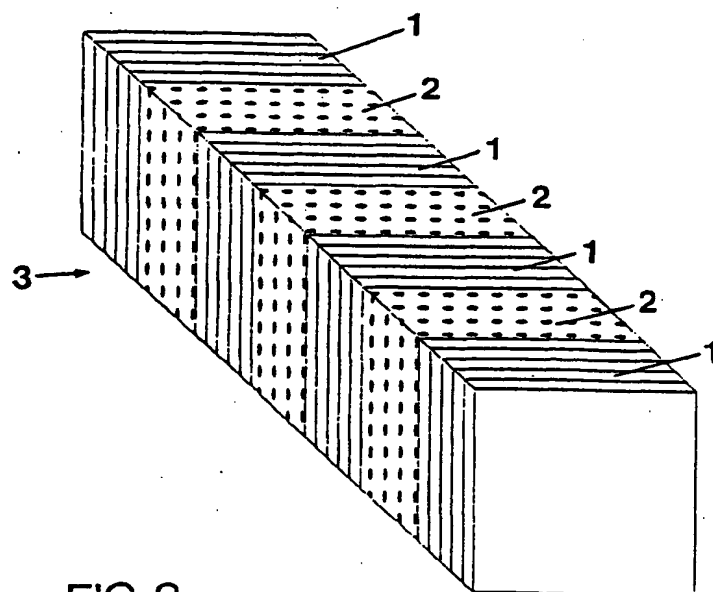


FIG. 2

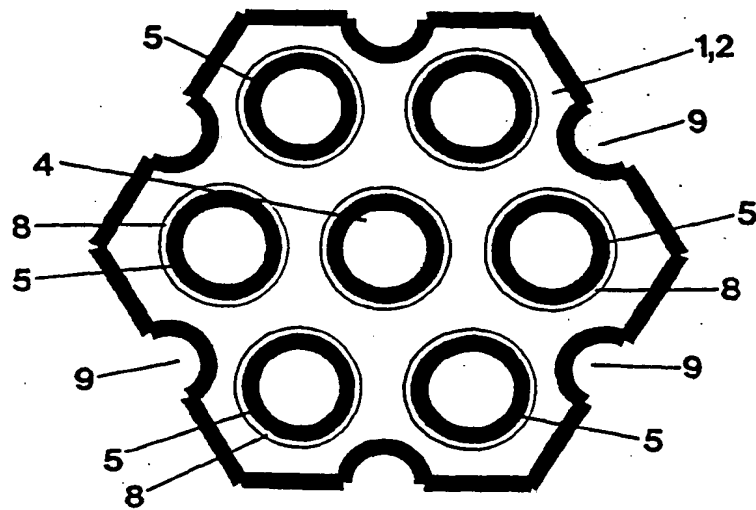


FIG. 5

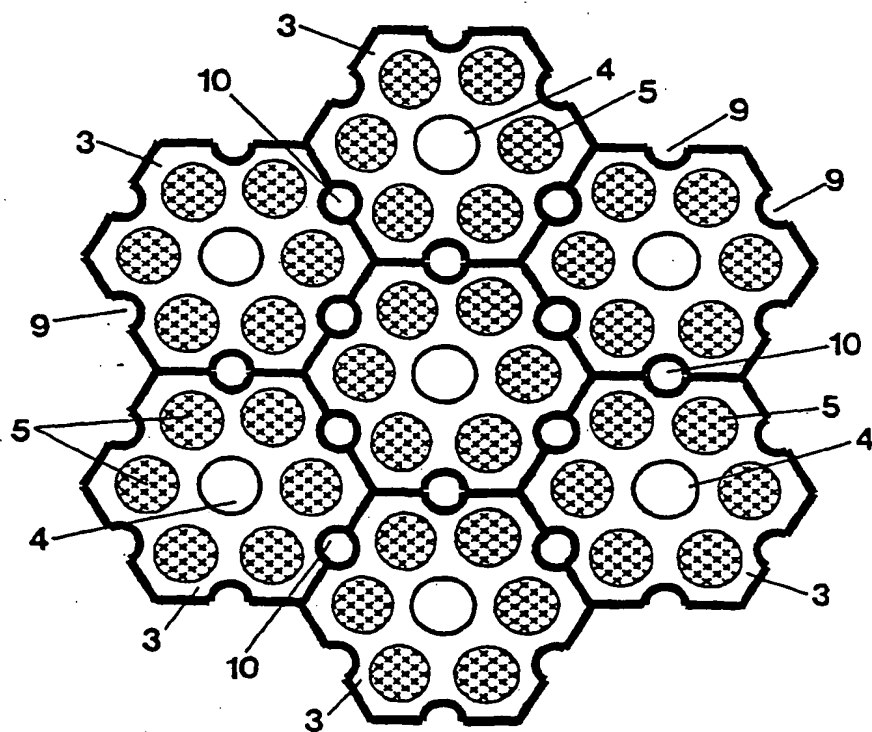


FIG. 6

BEST AVAILABLE COPY

Nummer:

Int. Cl.7:

Veröffentlichungstag:

DE 197 30 389 C2

F 28 F 9/00

6. Juni 2002

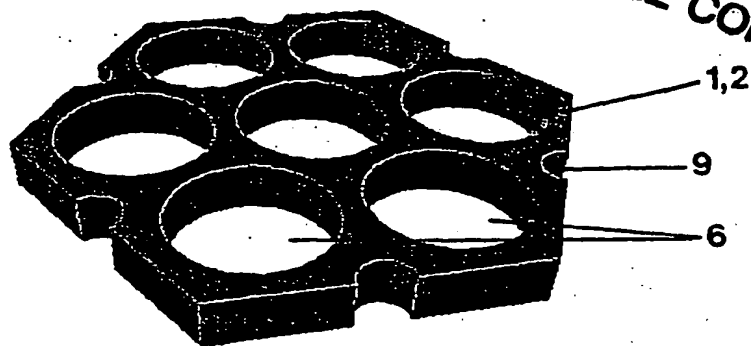


FIG. 7

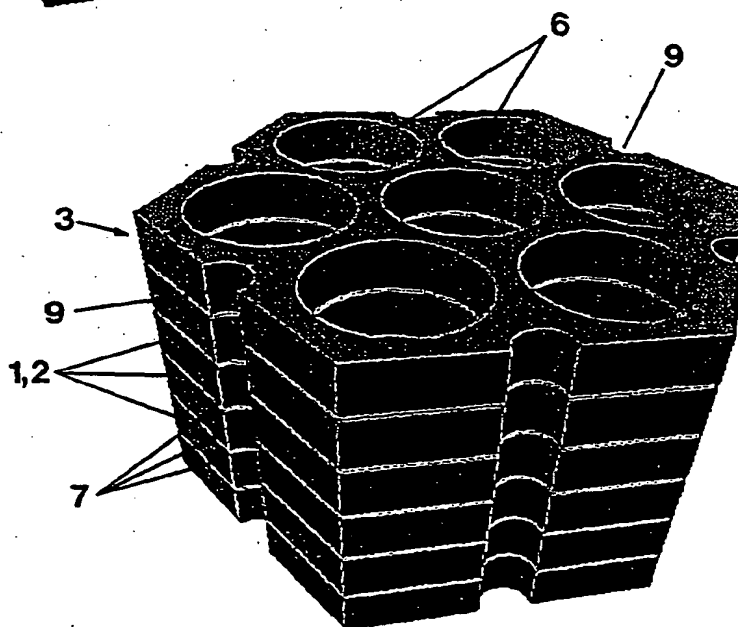


FIG. 8

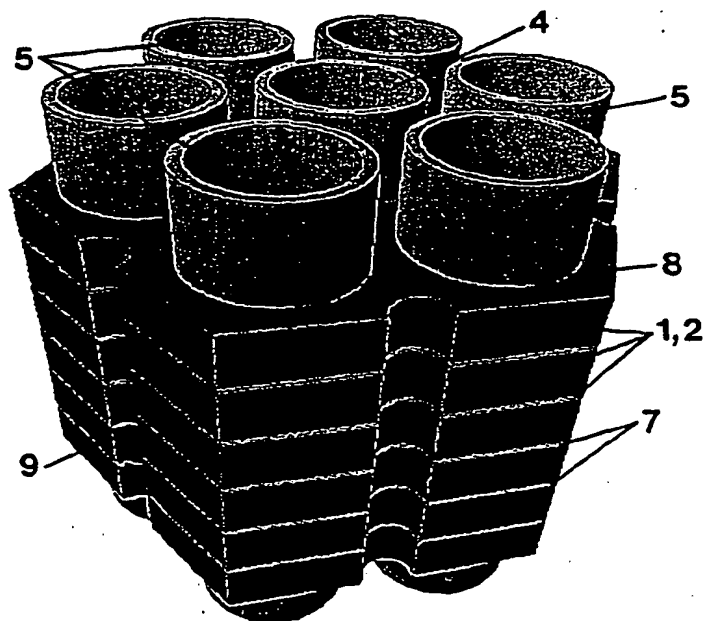


FIG. 9

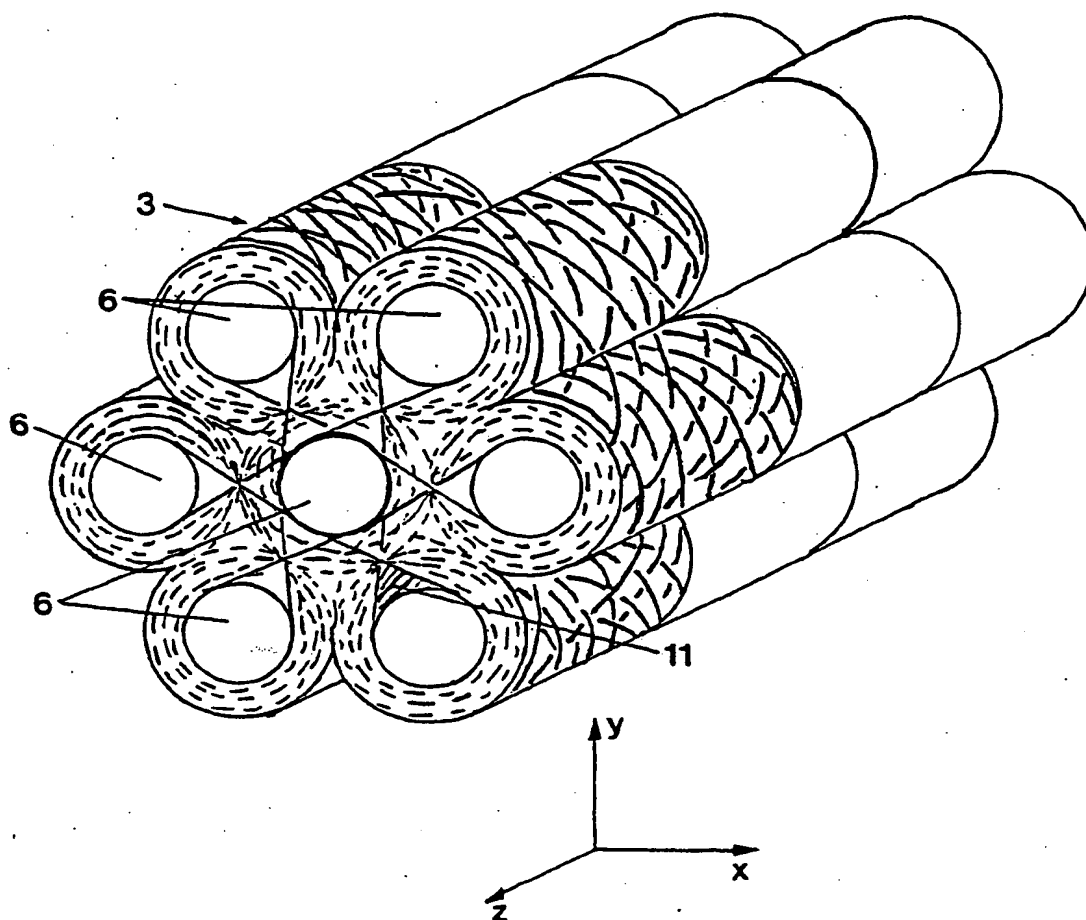


FIG. 10

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**